

# Verificación y postproceso de predicciones de radiación solar directa para su uso en centrales termosolares

Jose Luis Casado, Cristina Robles, Maria-Aranzazu Revuelta, María Postigo, Isabel Martínez  
Area de Aplicaciones, AEMET

VI Simposio Nacional de Predicción, 17 septiembre 2018



# Indice

- Proyecto PreFlexMS
- Proyecto con Red Eléctrica

# Proyecto PreFlexMS



**Predictable and Flexible Molten Salts Solar Power Plant** ([www.preflexms.eu](http://www.preflexms.eu)) es un proyecto dentro del Horizonte 2020 que busca mejorar la eficiencia y aumentar la flexibilidad de las centrales solares de concentración (CSP).

PreFlexMS is a consortium of 13 partners from 8 European countries. This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 654984. Swiss partners are funded by the State Secretariat for Education, Research and Innovation of the Swiss Confederation.



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

FR ALSTOM Power Systems

CH ALSTOM (Switzerland) Ltd.

IT Politecnico di Milano. Dept. of Electronics, Information and Bioengineering  
ESE Engineering. Services for Energy S.r.l.  
STF Salvatore Trifone e Figli S.p.A.

PL AGH University of Science and Technology. Dept. of Applied Computer Science  
EC Systems Sp. z o.o.

DE DLR German Aerospace Center. Remote Sensing Data Center  
DLR German Aerospace Center. Institute of Solar Research  
University of Stuttgart Dept. of Life Cycle Engineering (GaBi)

SK GeoModel Solar s.r.o.

PT University of Evora. Renewable Energies Chair

ES AEMET State Agency for Meteorology  
CENER National Renewable Energy Centre

La radiación normal directa (DNI) es el parámetro clave a la hora de predecir la producción de una planta termosolar.

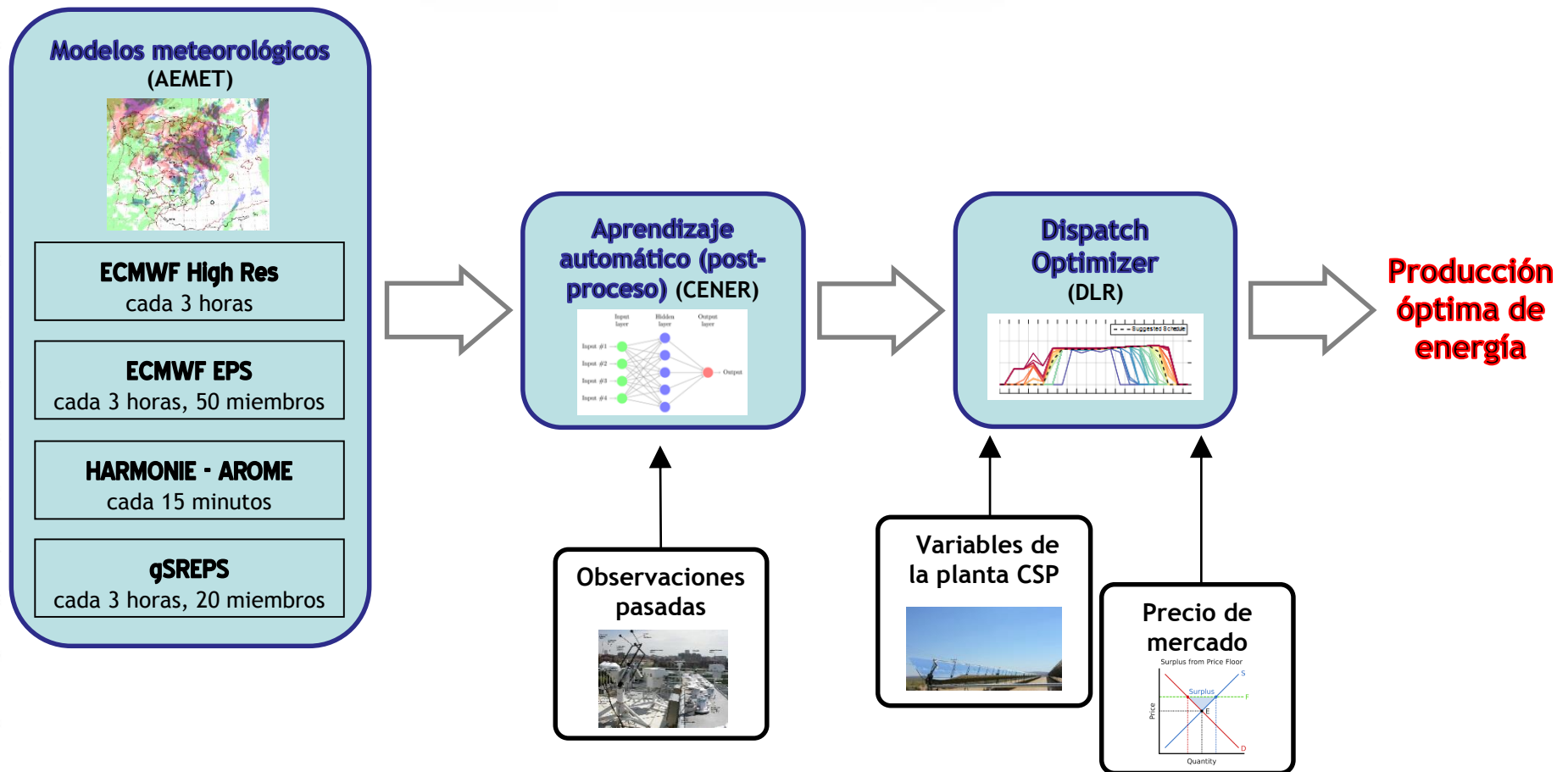
Las plantas termosolares con almacenamiento por sales fundidas pueden adaptar la producción de electricidad a la demanda, almacenando la energía durante el día y vertiéndola en la red durante la noche.



Uno de los objetivos del proyecto es incorporar las predicciones de DNI de los modelos meteorológicos en el ciclo de operación de las plantas termosolares, y así disponer de una predicción más exacta de la electricidad que se va a producir. Esta producción de energía se podría modificar de forma óptima en tiempo real según las condiciones meteorológicas y el precio de la energía, y así conseguir un mayor beneficio económico.

Además esto ayudaría a paliar el problema de la intermitencia de las fuentes renovables de energía.





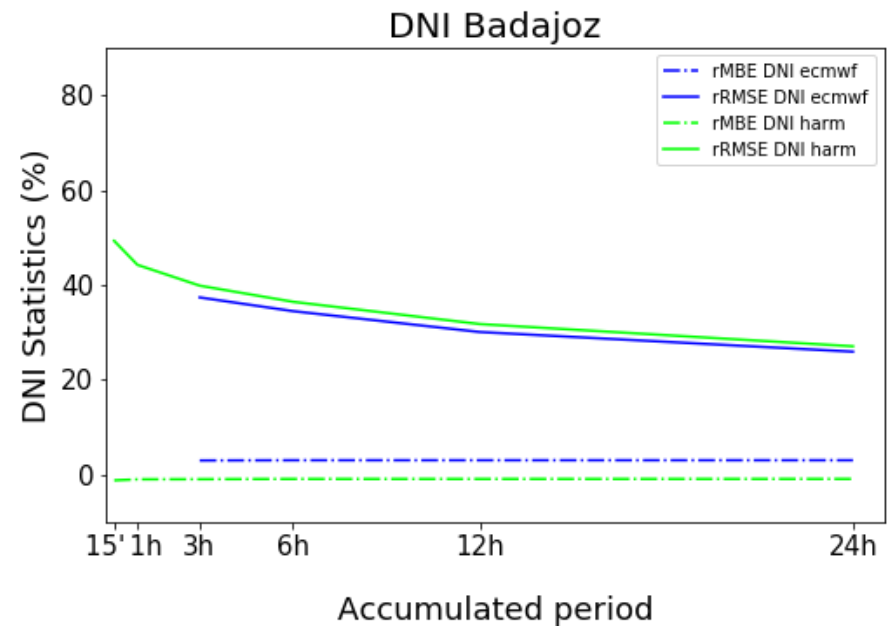
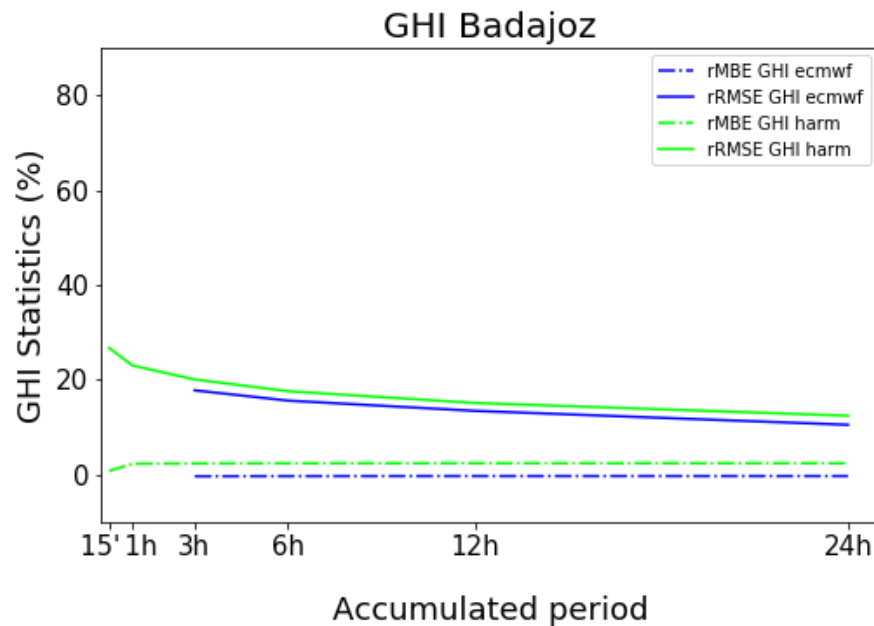


El prototipo para el proyecto está siendo construido en Evora (Portugal), pero se ha elegido una estación cercana en Badajoz, parte de la Red Radiométrica Nacional de AEMET (RRN), para verificar las predicciones de DNI.

Se han usado como apoyo otras estaciones adicionales de la RRN para conseguir una visión más completa.

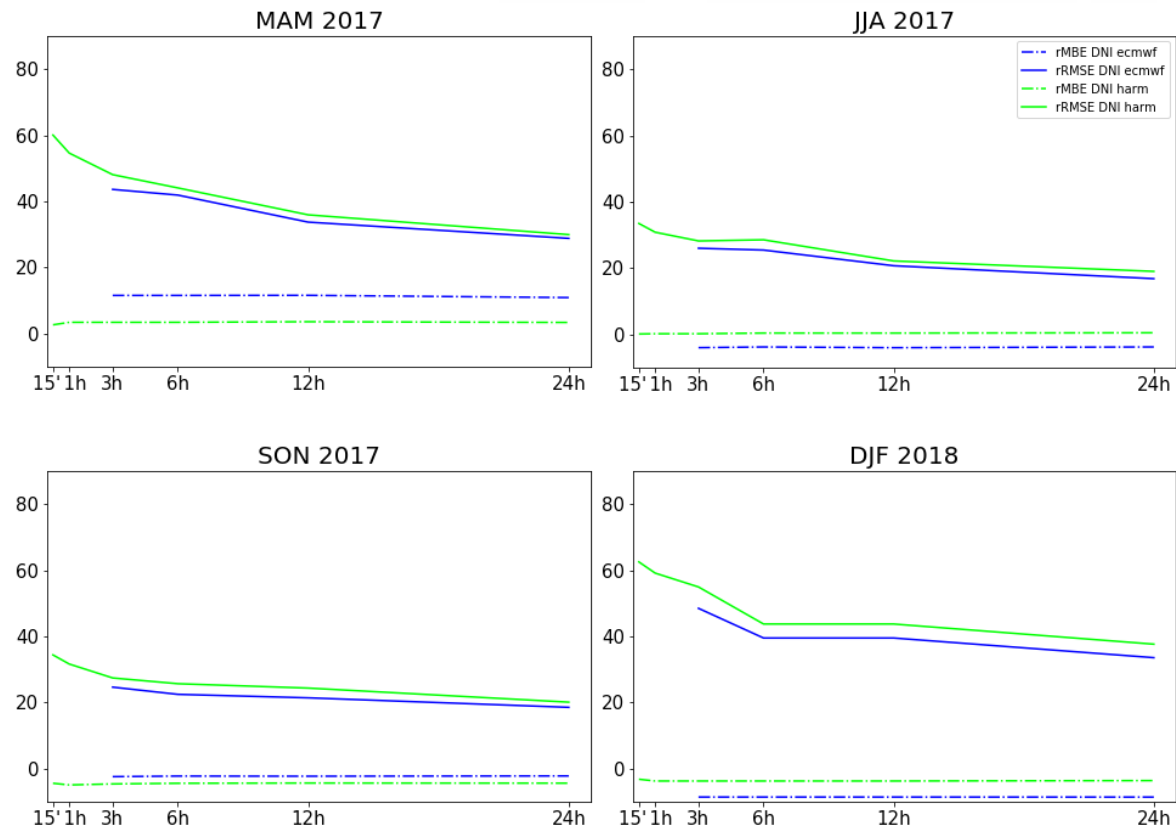
El periodo estudiado comprende tres años: de marzo 2015 a febrero 2018 (marzo 2017 - febrero 2018 para los datos cada 15 minutos de Harmonie-Arome).

## Errores para distintos periodos de acumulación:



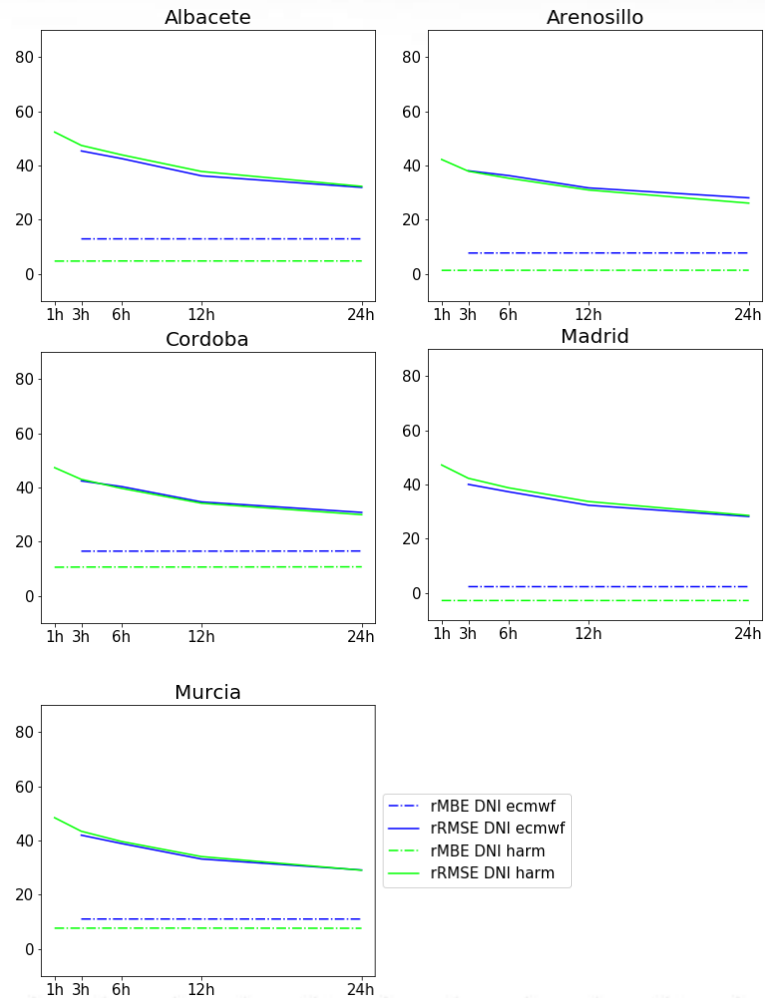
(se muestran las predicciones para D+1 para la pasada de 0Z)

## Error de DNI para cada estación del año:



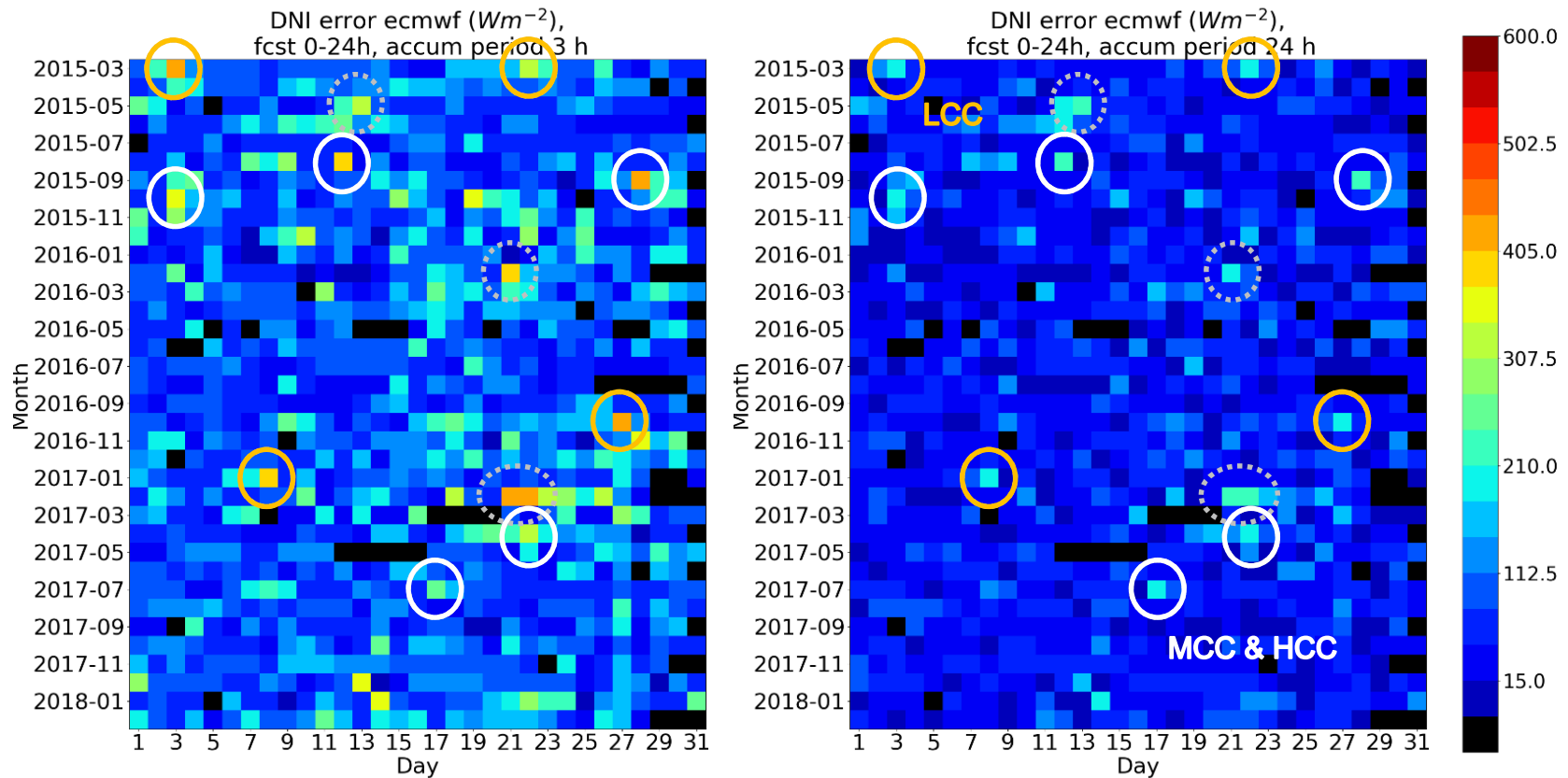
Notar el fuerte incremento del error en invierno para acumulaciones de 3 y menos horas.

## Error de DNI en distintos lugares:



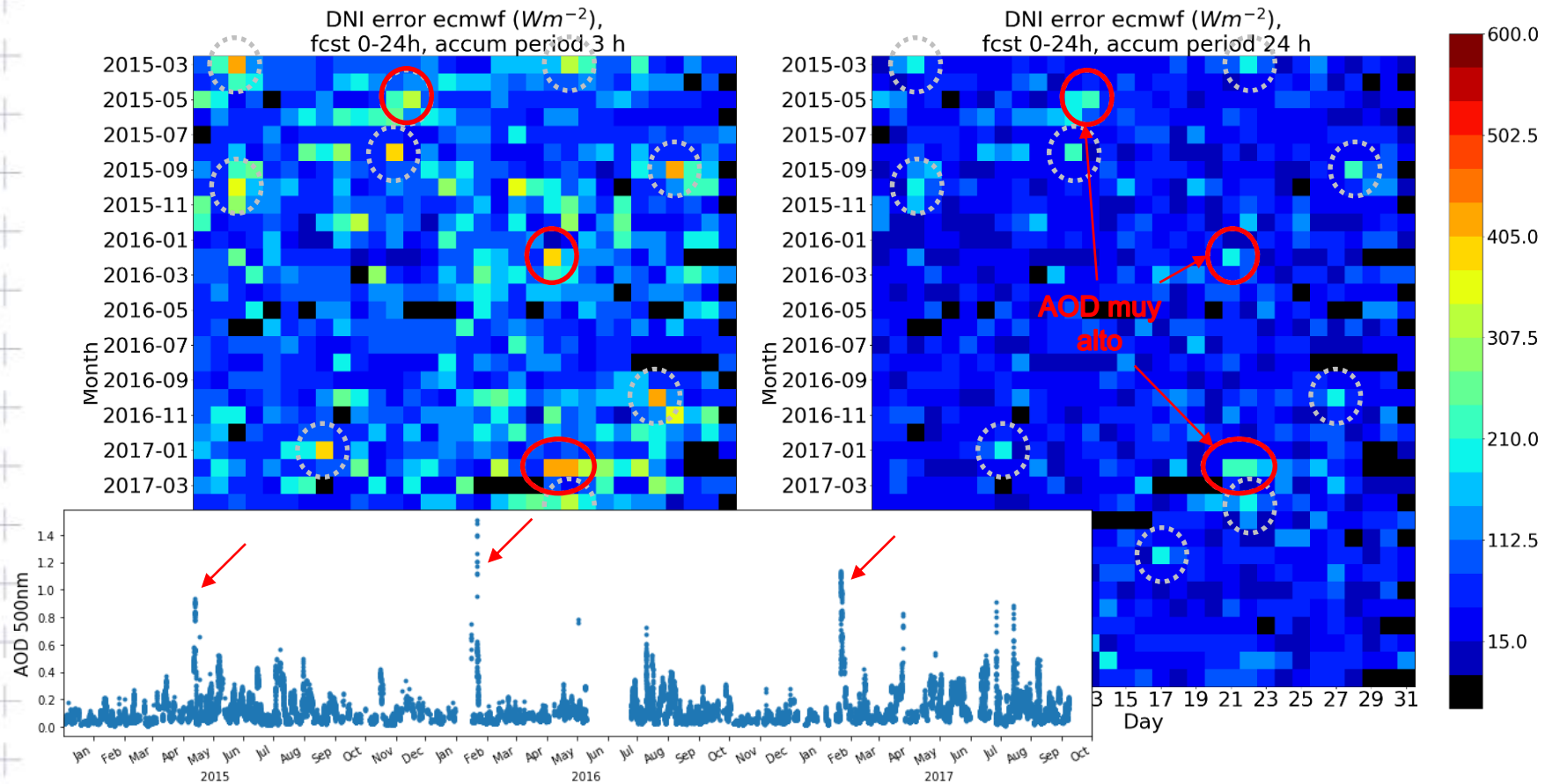
Harmonie-Arome y el modelo del ECMWF dan un error parecido en otras estaciones.

## Fuentes del error:





# Fuentes del error:



# Red Aeronet:



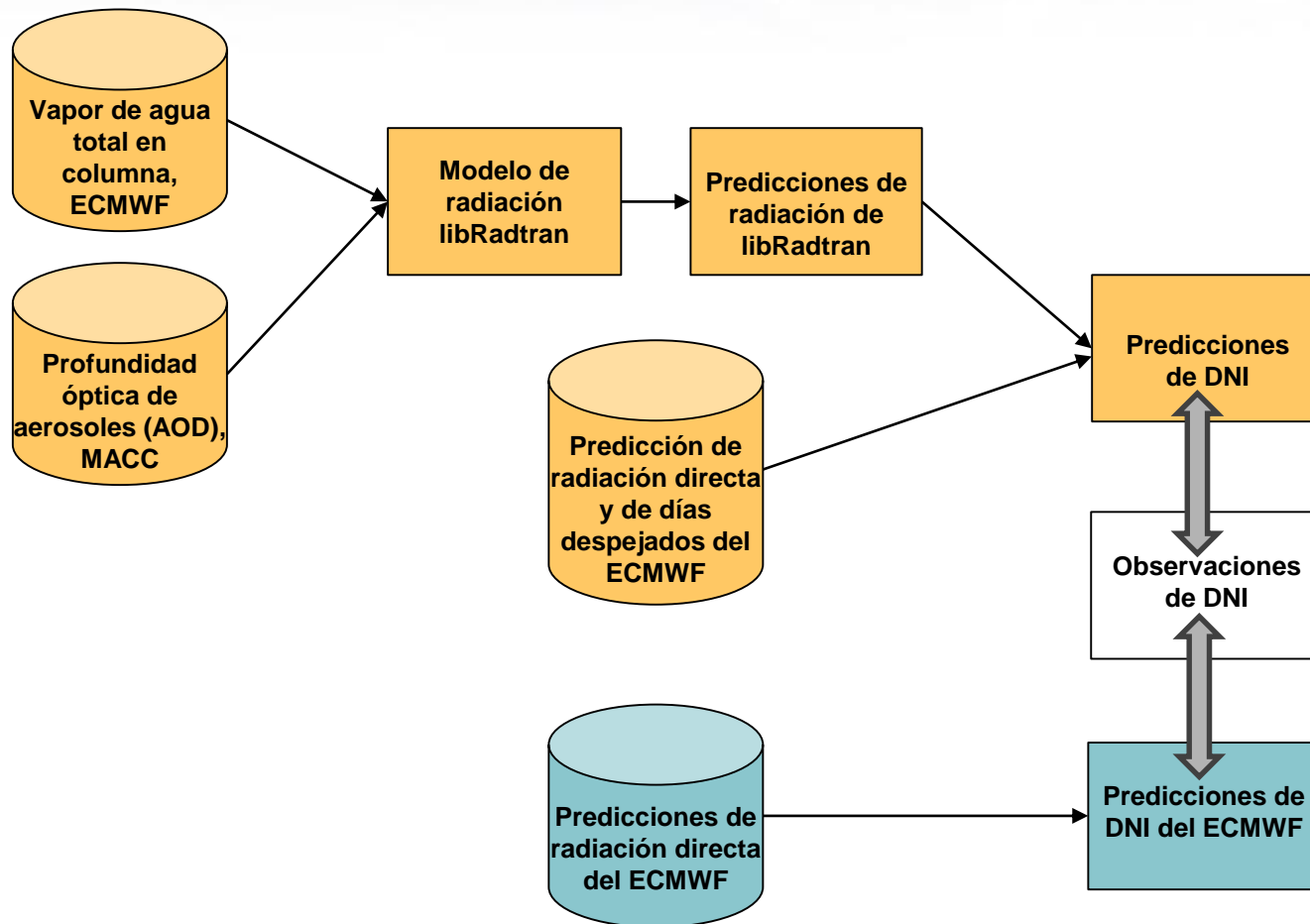
## Proyecto de Red Eléctrica

Se han comparado las predicciones de radiación directa del ECMWF con la radiación directa calculada por medio del modelo libRadtran, utilizando para alimentar este modelo el vapor de agua en columna predicho por el ECMWF y la profundidad óptica de aerosoles (AOD) de MACC (ahora llamado CAMS).

Este método fue propuesto por Breitzkreutz (2009), y permite estimar la influencia de los aerosoles en la DNI en días despejados. En particular es muy útil para comprobar el efecto que tienen en la DNI distintas especies de aerosoles.

Durante los días con nubes, se ha usado la radiación solar directa (parámetro *fdir*) y la radiación solar directa en días despejados (parámetro *cdir*) del ECMWF para estimar el efecto de las nubes:

$$DNI = DNI_{lrt} \frac{fdir}{cdir}$$



## RMSE relativo en días despejados

Los días despejados se han seleccionado usando los filtros de AERONET.

Estación	Año	rRMSE (ECMWF)	rRMSE (IRt + MACC)
Badajoz	2013	9.8%	8.1%
Madrid	2013	12.9%	11.2%
Murcia	2013	10.6%	9.6%
Badajoz	2014	8.6%	6.8%
Madrid	2014	9.3%	9.1%
Murcia	2014	11.0%	9.4%

(Casado-Rubio et al., 2017)

## RMSE relativo en eventos con alto contenido de aerosoles

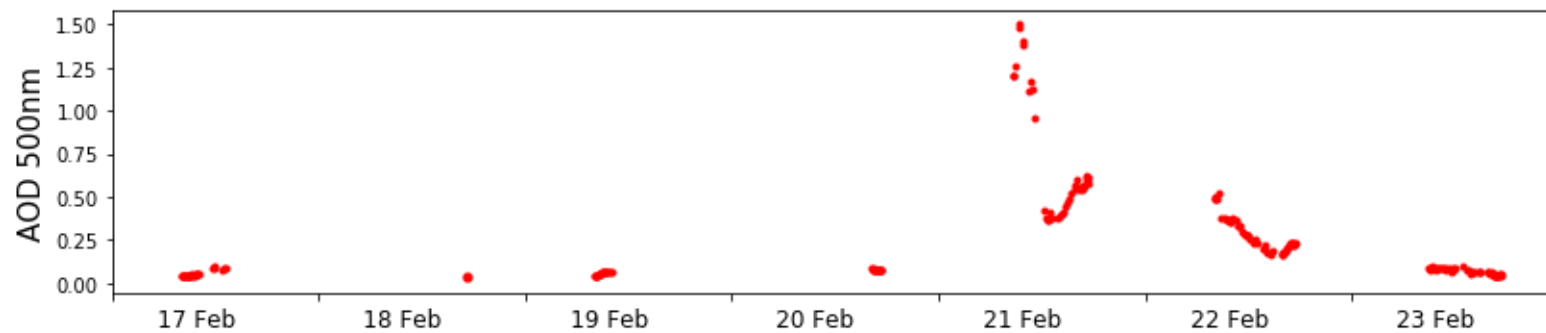
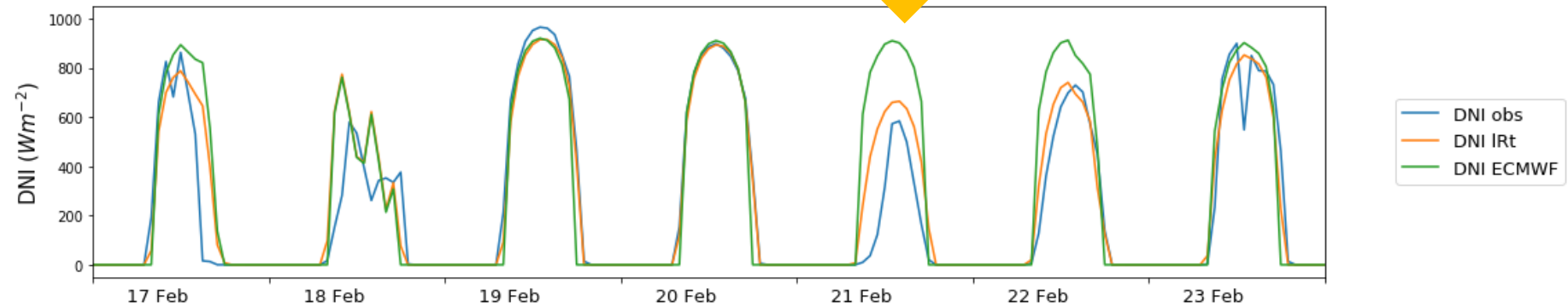
Se ha considerado que los eventos con alto contenido de aerosoles son aquellos en los que el AOD a 500 nm está por encima del percentil 85.

Estación	Año	rRMSE (ECMWF)	rRMSE (IRt + MACC)
Badajoz	2013	21.2%	13.7%
Madrid	2013	18.9%	13.3%
Murcia	2013	24.0%	17.5%
Badajoz	2014	19.5%	14.5%
Madrid	2014	19.0%	15.0%
Murcia	2014	23.6%	17.4%

(Casado-Rubio et al., 2017)



## Caso de estudio: Badajoz, 21 febrero 2016



## Resumen

- Las predicciones de radiación directa proporcionadas por el modelo del ECMWF se pueden utilizar de forma efectiva en tiempo real para mejorar la eficiencia y rentabilidad de las centrales solares de concentración.
- Los modelos Harmonie-Arome y ECMWF dan un rendimiento similar a la hora de predecir la DNI en la mitad sur de España.
- Aunque la nubosidad es la fuente principal de error, los aerosoles pueden tener un impacto importante algunos días concretos.
- CAMS (antes MACC) es una herramienta valiosa que se puede utilizar de forma indirecta para incluir aerosoles de forma pronóstica al realizar predicciones de DNI. Se ha desarrollado un método bastante simple que combina las predicciones de radiación solar directa del ECMWF con las de aerosoles de CAMS, y que mejora las predicciones de DNI en puntos seleccionados.

## Bibliografía

- Breitzkreuz, H., M. Schroedter-Homscheidt, T. Holzer-Popp, and S. Dech, 2009: Short-range direct and diffuse irradiance forecasts for solar energy applications based on aerosol chemical transport and numerical weather modeling. J. Appl. Meteor. Climatol., 48, 1766-1779, doi:10.1175/2009JAMC2090.1
- Casado-Rubio, J.L., M.A. Revuelta, M. Postigo, I. Martínez-Marco, and C. Yagüe, 2017: A Postprocessing Methodology for Direct Normal Irradiance Forecasting Using Cloud Information and Aerosol Load Forecasts. J. Appl. Meteor. Climatol., 56, 1595-1608, doi:10.1175/JAMC-D-16-0297.1